

УДК 519.876.5:004.81

О. В. Бісікало, к. т. н., доц.

ПОБУДОВА ЛАНЦЮГА ОБРАЗІВ У МЕЖАХ МОДЕЛІ АСОЦІАТИВНОГО ОБРАЗНОГО МИСЛЕННЯ

У роботі подано формалізацію психолінгвістичного поняття асоціативно-вербальної мережі образів на основі моделі образного мислення людини. З урахуванням особливостей моделі розглянуто метод визначення шляху в графі, що дозволяє суттєво скоротити простір пошуку. Запропоновано алгебраїчну модель рекурсивної побудови ланцюга образів за критеріями мінімуму довжини та максимуму сили асоціативного зв'язку.

Ключові слова: образне мислення, асоціативно-вербальна мережа, пошук у графі, рекурсивний алгоритм, алгебраїчна модель.

Парадокси асоціативного образного мислення здавна привертають до себе увагу дослідників, проте феноменологічний характер відповідних психофізіологічних процесів суттєво ускладнює їх формальний опис. Актуальні натеper, у зв'язку з поширенням мережі Інтернет, розробки логічних моделей лінгвістичного процесора вже досягли своєї межі синтаксичного та семантичного рівня. Оскільки людина краще розуміє мовні висловлювання за рахунок образного світосприйняття. **Науково важливою проблемою** будемо вважати відсутність методології моделювання процесів асоціативного образного мислення для побудови лінгвістичного процесора [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми та на які спирається автор, дозволяє констатувати, в основному, концептуальний характер існуючих моделей образного мислення. Найбільш близьким науковим інструментарієм, що стосується окресленої проблеми, можна вважати вільний асоціативний експеримент, який пов'язаний з психолінгвістичними дослідженнями мовленнєвої діяльності людини і формуванням її мовної здатності. Визначення асоціативного значення слова ввів у сучасну наукову парадигму Дж. Діз, який став одним з найзначніших його дослідників у психолінгвістиці ХХ століття. В інтерпретації Дж. Діза асоціативним визначалося найбільш адекватне психологічній структурі значення, інакше – “потенційний розподіл відповідей (слів-асоціатів) на деяке слово-стимул”. У процесі дослідження асоціацій Дж. Дізом детально вивчені імовірнісні характеристики асоціативних зв'язків слова з іншими словами за допомогою кластерного аналізу [2].

Багаторічні та широкомасштабні експерименти з дослідження особливостей текстотворчого потенціалу асоціативного поля слова А. А. Залевської та групи її співробітників розвинули підхід до аналізу значення слова, запропонований Дж. Дізом. На думку А. А. Залевської, цей підхід себе ще далеко не вичерпав, а перспективи його подальшого застосування визначаються можливістю інтеграції в більш загальну теорію специфіки індивідуального знання і принципів його функціонування [3]. Результати останніх досліджень, в окресленому напрямку, дозволяють говорити і про утворенні окремого напрямку в психолінгвістиці – асоціативної лінгвістики (концепція Ю. М. Караулова), яка представлена на сучасному етапі асоціативними лексикографією, лексикологією і граматикою [4]. Згідно цієї концепції, мова може бути представлена не тільки у вигляді системи відносин, не тільки як значна сукупність текстів, але й у вигляді асоціативно-вербальної мережі (АВМ), що співвідноситься з мовленнєвою здатністю носія мови. АВМ складається з ієрархічно підпорядкованих рівнів, що послідовно ускладнюються: слово або словосполучення – асоціативне поле – сукупність асоціативних полів. На основі такого підходу в межах асоціативної лінгвістики будується асоціативний простір текстів, який ізоморфний мові [5].

Формальні аспекти асоціативної теорії досліджені в літературі частково, проте можна вважати відомими базові методи асоціативного пошуку, коли для одного елементу множини знаходять найбільш близькі за силою асоціативного зв'язку елементи у вигляді хеш-таблиці. Зрозуміло, що перетин операції побудови списку слів-асоціативів для двох різних елементів (вузлів АВМ) дозволяє визначити найближчий між ними спільний елемент [6]. Нерозв'язаною залишається задача побудови ланцюга з трьох та більше вузлів АВМ, яка виникає в лінгвістичному процесорі під час отримання відповідей на питання та в інших задачах образного мислення [7, 8].

Введемо лінгвістичне поняття образу як сукупності вербальних позначень однокореневого об'єкту-якості-методу [9]. Тоді асоціативну мережу образів можна отримати шляхом «ущільнення» АВМ, коли декілька споріднених вузлів об'єднують у один, причому відповідні асоціативні зв'язки переходять «у спадок» новому вузлу. Припустимо, що i -й елемент множини образів X позначається двійковим кодом $Bi-I_i$, тоді асоціативну мережу образів можна представити у вигляді простору пар $Assoc - Twice \subset X \times X$. Будемо вважати, що в межах моделі образного мислення побудовано алгоритм $Hash-Table(Bi-I_i)$, що визначає відсортований список образів $List_i$, найбільш близьких до i -го образу за силою асоціативного зв'язку S_i . Відомим можна також вважати алгоритм $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$ – пошук проміжного або інсайтного образу-ланки між образами $Bi-I_1$ та $Bi-I_2$: у результаті виконання операції $Hash-Table(Bi-I_i)$ до кожного з образів пари $(Bi-I_1, Bi-I_2)$ визначаються два відсортованих за зменшенням S_i списки асоційованих образів $List_1$ та $List_2$, тоді оператор $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$ знаходить ті образи, що присутні в обох списках (перетину двох множин). На рис. 1 наведено зображення списків $List_1$ та $List_2$ у вигляді бульбашок, площа яких пропорційна силі асоціативного зв'язку S_i , причому спільні елементи двох списків (образи-інсайти) позначено кольором.

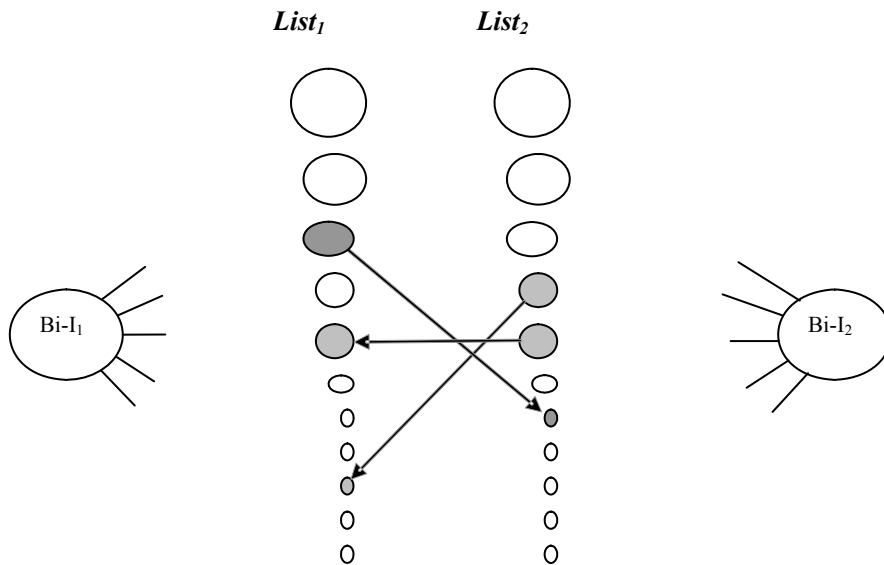


Рис. 1. Перетин списків $List_1$ та $List_2$ у результаті дії оператора $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$

За цих умов розглянемо випадок, коли необхідно знайти n невідомих ланок у ланцюзі образів. Задача стає актуальною тоді, коли алгоритм $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$ не знаходить спільних елементів у списках $List_1$ та $List_2$. Сформулюємо **задачу дослідження** таким чином: за допомогою уже відомих алгоритмів $Hash-Table(Bi-I)$, $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$ знайти мінімальний за довжиною n ланцюг проміжних образів між початковим образом $Bi-I_1$ та кінцевим образом $Bi-I_2$ з максимальною сумарною вагою асоціативного зв'язку

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} S_i .$$

Спосіб розв'язання поставленої задачі проілюструємо зображенням фрагменту асоціативної мережі образів на рис. 2. Цей фрагмент мережі показує від'ємний результат початкової дії оператора $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$, оскільки образи $Bi-I_1$ та $Bi-I_2$ неможливо поєднати однією ланкою. Якщо застосувати відомі методи пошуку критичного шляху в мережесхемних моделях, то, в загальному випадку, вирішення задачі вимагає прямого перебору розмірністю $n!$ можливих маршрутів для n вузлів графа.

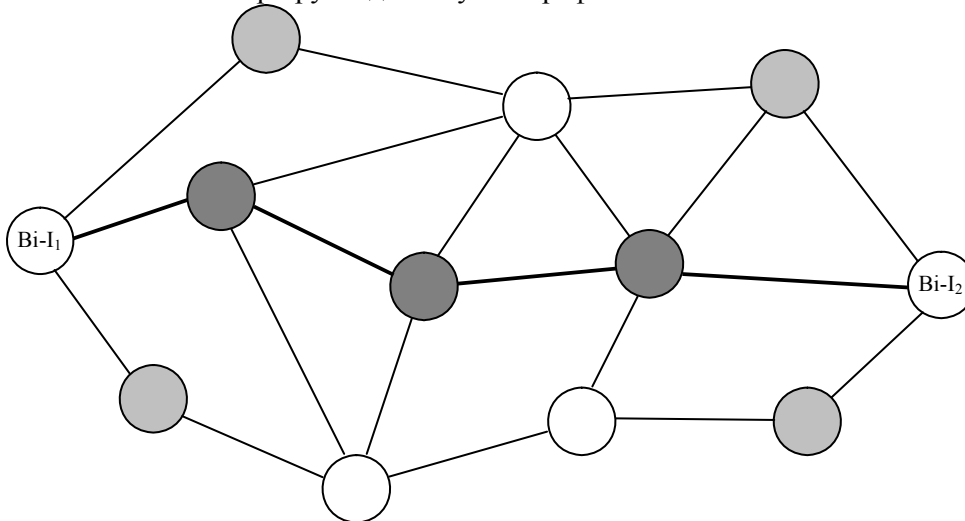


Рис. 2. Фрагмент асоціативної мережі образів з результатом дії оператора $Find-n(Bi-I_1, Bi-I_2)$

Проте, можна врахувати наступні особливості графа, що впливають з моделі образного мислення [10] та відійти від NP-повної задачі:

1. Кількість значущих зв'язків від кожного вузла графа (образу) до інших вузлів (образів) не перевищує 7 ± 2 , але не менша від 2.
2. Не існує двох різних вузлів (образів), які б мали однаковий набір суміжних вузлів (асоційованих образів).
3. Між будь-якими двома вузлами графу розмірністю n обов'язково існує кінцевий шлях довжиною не більше від $(n+1)/2$.

Пропонуємо наступний підхід до вирішення поставленої задачі: будується опорний маршрут на основі рекурсивного сортування за силою зв'язку S_i отриманих на кожному i -му кроці списків образів та вибору найкращого з них, за винятком вже задіяних у попередніх ітераціях образів. Для зберігання ланок маршруту використовується стек $Route_i$, причому внесення нової ланки маршруту (образу) в стек супроводжується перевіркою на зациклення, оскільки у стеку не може бути двох однакових образів. Отриманий опорний маршрут оптимізується з метою зменшення кількості асоціативних ланок, тобто другою цільовою функцією виступає лаконічність мовної конструкції (висловлювання).

Алгоритм вирішення поставленої задачі побудуємо за допомогою наступних формальних операцій та предикатів:

1. Операція $Hash-Table(Bi-I_i)$ створює відсортований за силою асоціативного зв'язку S_i список образів $List_i$ для образу-стимулу $Bi-I_i$:

$$(Bi - I_i, S_i) \xrightarrow{Hash-Table} List_i. \quad (1)$$

2. Предикат $Stop$, що показує завершення побудови асоціативного маршруту:

$$Bi - I_i = Bi - I_2 \rightarrow Stop. \quad (2)$$

3. Операція $Find-1(Bi-I_1, Bi-I_2)$ знаходить проміжні ланки $Bi-I_x$ (образу-інсайту) для образів $Bi-I_1$ та $Bi-I_2$:

$$(Bi - I_1, Bi - I_2) \xrightarrow{Find-1} Bi - I_x. \quad (3)$$

4. Предикат *Insight*, що показує знаходження образу-інсайту в результаті застосування операції *Find-1*($Bi-I_1, Bi-I_2$):

$$\exists Bi-I_x \rightarrow Insight. \quad (4)$$

5. Предикат *Cycle*, що виявляє зациклення в роботі алгоритму побудови ланцюга образів за рахунок повторення в стеку $Route_i$ однакового образу:

$$Bi-I_i \in Route_j, j = \overline{1, i-1} \rightarrow Cycle. \quad (5)$$

Для розв'язання поставленої задачі з урахуванням формальних операцій та предикатів (1)÷(5) представимо двохосновну алгебраїчну систему у вигляді:

$$Algebra = \langle B, \Omega \rangle, \quad (6)$$

де

$$B = \{Bi-I, S\} \quad (7)$$

основи, а

$$\Omega = \{OP, IF\} \quad (8)$$

– сигнатура системи, що складається з операцій *OP* та предикатів *IF*. В якості основ використовується *Image* – множина вербальних позначень образів та $Bi-I$ – бінарні коди елементів множини *Image*. До складу операцій та предикатів системи входять розглянуті раніше

$$OP = \{Hash-Table, Find-1\}, \quad (9)$$

$$IF = \{Stop, Insight, Cycle\}. \quad (10)$$

Покажемо, що задача побудови ланцюга образів у межах алгебраїчної системи *Algebra* фактично зводиться до рекурсивного алгоритму на основі операцій *OP* та предикатів *IF*. У граф-схемах для алгебраїчних конструктів, що будуть розглядатися з цією метою, використані такі позначення для операторів структурного програмування [11]:

- Do – цикл за параметром або за умовою;
- If (+ -) – альтернатива;
- *

– композиція.

Достатньою для розв'язання поставленої задачі є послідовна побудова наступних операторів з сигнатури (8) з урахуванням введених раніше позначень.

1. Оператор R_1 , що збільшує на 1 змінну i –номер поточної ланки ланцюга образів та заносить в i -ту комірку стеку $Route_i$ значення коду кінцевого образу маршруту $Bi-I_2$:

$$R_1 ::= i+1 \rightarrow i * Bi-I_2 \rightarrow Route_i. \quad (11)$$

Граф-схему оператора R_1 представлено на рис. 3.

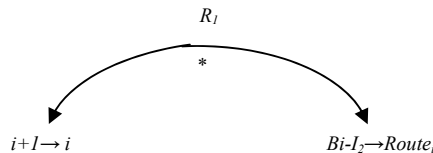
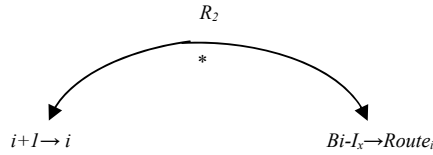


Рис. 3. Граф-схема оператора R_1

2. Оператор R_2 , що збільшує на 1 змінну i та заносить в i -ту комірку стеку $Route_i$ значення коду образу-інсайту $Bi-I_x$:

$$R_2 ::= i+1 \rightarrow i * Bi-I_x \rightarrow Route_i. \quad (12)$$

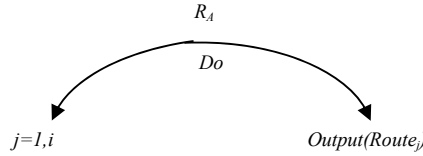
Граф-схему оператора R_2 представлено на рис. 4.

Рис. 4. Граф-схема оператора R_2

3. Кінцевий оператор R_A , який виводить отриманий маршрут або випадок заиклення у вигляді заповнених комірок стеку $Route_i$ від 1-ї по i -ту за допомогою процедури $Output()$:

$$R_A ::= \{[j = \overline{1, i}] \text{ } Output(Route_j)\} . \quad (13)$$

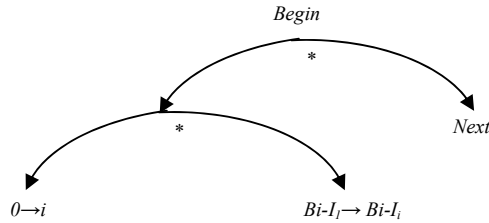
Граф-схему оператора R_A представлено на рис. 5.

Рис. 5. Граф-схема оператора R_A

4. Оператор $Begin$, що починає алгоритм побудови маршруту обнуленням змінної i , заносить значення коду початкового образу маршруту $Bi-I_1$ в змінну поточного образу $Bi-I_i$ та передає управління оператору $Next$:

$$Begin ::= 0 \rightarrow i * Bi - I_1 \rightarrow Bi - I_i * Next . \quad (14)$$

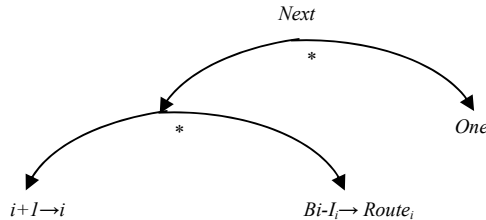
Граф-схему оператора $Begin$ представлено на рис. 6.

Рис. 6. Граф-схема оператора $Begin$

5. Оператор $Next$, що збільшує на 1 змінну i , заносить в i -ту комірку стеку $Route_i$ значення коду поточного образу $Bi-I_i$ та передає управління оператору One :

$$Next ::= i + 1 \rightarrow i * Bi - I_i \rightarrow Route_i * One . \quad (15)$$

Граф-схему оператора $Next$ представлено на рис. 7.

Рис. 7. Граф-схема оператора $Next$

6. Оператор One , що знаходить список образів-асоціатів до образу $Bi-I_i$ за допомогою операції $Hash-Table(Bi-I_i)$ та перевіряє предикат $Stop$. За умови виявлення кінцевого образу маршруту виконуються операції R_i та R_A , інакше управління передається до оператора $Step$:

$$One ::= Hash - Table(Bi - I_i) * ([Stop] (R_1 * R_A), Step) . \quad (16)$$

Граф-схему оператора *One* представлено на рис. 8.

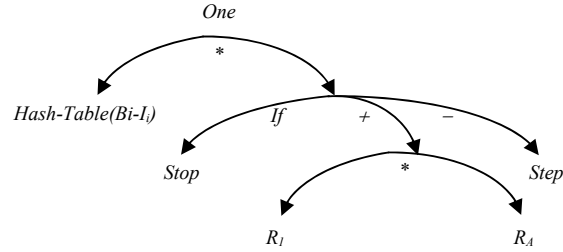


Рис. 8. Граф-схема оператора *One*

7. Оператор *Step*, що призначає найбільше значення з списку для i -го образу на місце $i+1$ -ї ланки маршруту $Bi-I_{i+1}$ та перевіряє предикат *Cycle*. Під час виявлення зациклення маршруту виконується операція R_A , інакше управління передається до оператора *Two*:

$$Step ::= Max(List_i) \rightarrow Bi - I_{i+1} * ([Cycle] \ R_A, Two) . \quad (17)$$

Граф-схему оператора *Step* представлено на рис. 9.

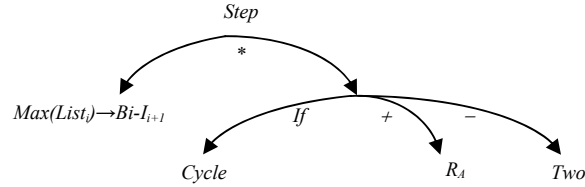


Рис. 9. Граф-схема оператора *Step*

8. Оператор *Two*, що шукає образ-інсайт між поточним образом $Bi-I_i$ та кінцевим образом маршруту $Bi-I_2$, а потім перевіряє предикат *Insight*. Під час виявлення образу $Bi-I_x$ послідовно виконуються операції R_2 , R_l та R_A , інакше управління рекурсивно переключається на оператора *Next*:

$$Two ::= Find - l(Bi - I_i, Bi - I_2) * ([Insight] \ (R_2 * R_l * R_A), Next) . \quad (18)$$

Граф-схему оператора *Two* представлено на рис. 10.

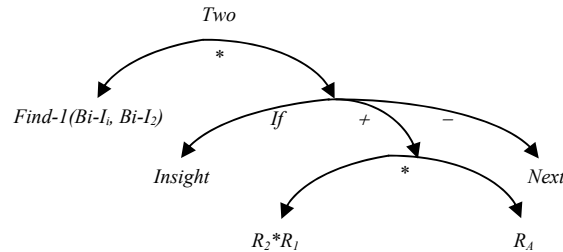


Рис. 10. Граф-схема оператора *Two*

Отже, запропонований рекурсивний алгоритм в якості точки зупинки має лише оператор R_A для демонстрації як знайденого маршруту, так і ситуації зациклення. Для розмежування цих двох різних випадків у подальшому можна ускладнити алгоритм процедурою подолання зациклення шляхом призначення наступної ланки після проблемного i -го образу другим за вагою образом у списку $List_i$. З огляду особливості графа, які впливають з моделі образного мислення, новий кінцевий маршрут також є.

Отриманий за допомогою алгоритму (11)÷(18), опорний маршрут побудовано за критерієм максимуму сили асоціативного зв'язку між його образами-ланками. Проте не можна стверджувати, що цей образний ланцюг є найкоротшим з усіх можливих, оскільки на кожному кроці алгоритму перевірялося існування інсайтної ланки тільки між поточним

образом і кінцевим. Отже, зворотне застосування операції *Find-1* та предикату *Insight* до пар образів ланцюга з номерами $(i-1,1)$, $(i-1,2)$, ..., $(i-1,i-4)$, $(i-2,1)$, $(i-2,2)$, ..., $(i-2,i-5)$, ..., $(4,1)$ потенційно може скоротити маршрут. На рис. 11 послідовність аналізу таких пар показано пронумерованими дугами для ланцюга з 7-ми образів.

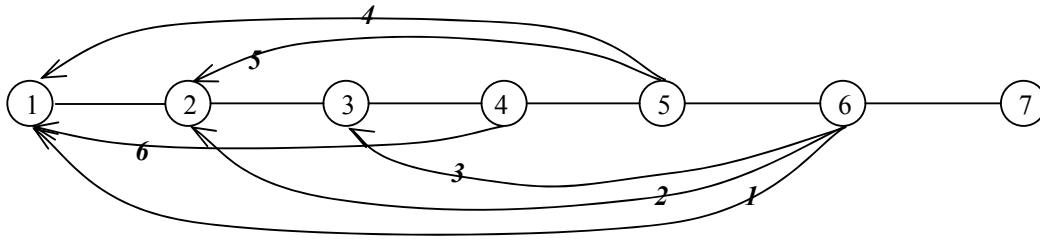


Рис. 11. Послідовність варіантів оптимізації за критерієм мінімуму довжини ланцюга

Характерною особливістю запропонованого підходу є суттєве зменшення простору пошуку в графі, оскільки за допомогою методу математичної індукції легко довести, що найбільша кількість варіантів V скорочення маршруту з n ланок не більша за арифметичну прогресію

$$V = 1 + 2 + \dots + n - 5 + n - 4 = \sum_{i=1}^{n-4} i. \quad (19)$$

Висновки. В роботі показано, що психолінгвістичне поняття асоціативно-вербальної мережі в межах моделі образного мислення формалізується у вигляді графу з характерними особливостями побудови. З урахуванням цих особливостей розглянуто метод визначення у графі ланцюга асоціативно пов'язаних між собою образів за критеріями мінімуму довжини маршруту та максимуму сили асоціативного зв'язку між образами. На відміну від відомих методів вирішення аналогічних задач пошуку найкоротших шляхів у графах, запропонований алгоритм моделює процеси образного мислення людини та зменшує простір пошуку від геометричної до арифметичної прогресії. Формалізація алгоритму у вигляді двохосновної алгебраїчної системи дозволяє рекурсивно будувати чергові ланки ланцюга образів та визначати головну проблему пошуку – зациклення маршруту у графі. Перспективними задачами підходу, що пропонується, можна вважати подальшу алгебраїчну формалізацію:

- реакції системи на випадки зациклення;
- рекурентного застосування операції *Find-1z* метою мінімізації довжини опорного маршруту.

Впровадження та апробацію розглянутих моделей здійснено в навчальному процесі кафедри економічної кібернетики та інформатики ВДАУ при підготовці електронних посібників з фахових дисциплін. Діючий прототип системи розроблено на основі технології Python-SQLite [8], яка поєднує парадигми об'єктно-орієнтованого і функціонального програмування з можливостями мови запитів SQL до реляційної бази даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бисикало О.В. Принципы построения лингвистической системы на основе модели образного мышления / О.В. Бисикало // Сборник «Труды восьмой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии», г. Одесса, 21-24 мая 2007 года». – Одесса: СИЭТ–2007, 2007. С.63.
2. Белянин В.П. Психолінгвістика: Учебник. 5-е изд. / В.П. Белянин. – М.: Флинта, Московский психолого-социальный институт, 2008. – 232 с.
3. Залевская А.А. Значение слова и возможности его описания / А.А. Залевская // Языковое сознание: формирование и функционирование. Сборник статей / Отв. ред. Н.В. Уфимцева. – М., 1998. С. 35 – 54.
4. Караулов Ю.Н. Семантический гештальт ассоциативного поля и образы сознания / Ю.Н. Караулов // Языковое сознание: содержание и функционирование. XIII Международный симпозиум по психолінгвістике и

теории коммуникации: тезисы докладов, Москва, 1-3 июня 2000 г. / Редактор Е.Ф. Тарасов. – М., 2000, С. 107-108.

5. Международный симпозиум по психолингвистике и теории коммуникации: тезисы докладов, (Москва, 1-3 июня 2000 г.) / Редактор Е.Ф. Тарасов. – М.: ИРЯ РАН, 1999. – 180 с.

6. Бісікало О.В. Алгебраїчна модель лінгвістичного процесора / О.В. Бісікало // Информационные технологии в управлении сложными системами: Сборник докладов и тезисов Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 22-23 мая 2008). – Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2008. – С. 23-24.

7. Бісікало О.В. Конструювання образу-рішення для моделі інтелектуального управління / О.В. Бісікало // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (56). – Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 123-128.

8. Bisikalo O. Knowledge base of teaching system construction supported by creative thinking model / O. Bisikalo // Third International Conference “New Information Technologies in Education for All: e-education”, Proceedings (1-3 October 2008). – Kiev: Akadempriodika, 2008. – p. 413-421 (in Russian).

9. Бісікало О.В. Структура блоку пам'яті на основі моделі образного мислення людини / О.В. Бісікало // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 461-468.

10. Bisikalo O. Approach to the modeling of imaging mechanism of operative memory / O. Bisikalo // Second International Conference “New Information Technologies in Education for All”, Conference Proceedings (21-23 November 2007). – Kiev: Akadempriodika, 2007. – p. 336-344 (in Russian).

11. Цейтлин Г.Е. Введение в алгоритмику / Г.Е. Цейтлин. – Киев: издательство “Сфера”, 1998. – 310 с.

Бісікало Олег Володимирович – к. т. н., доцент кафедри економічної кібернетики та інформатики, e-mail: obisikalo@gmail.com, тел.: (0432)-439370.

Вінницький державний аграрний університет.